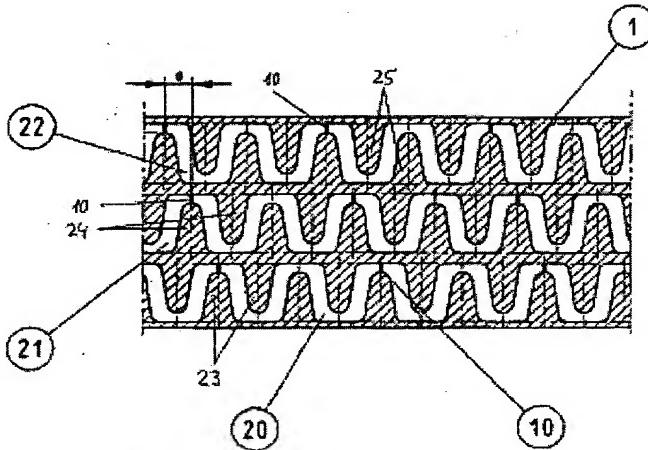


**Electric motor with sinusoidal air gap contained in the jacket of a pole tube that separates the stator poles from each other.**

**Patent number:** DE19917689  
**Publication date:** 2000-10-26  
**Inventor:** SIRAKY JOSEF (DE); HELD SIEGFRIED (DE);  
BENEDIX HANS (DE)  
**Applicant:** STEGMANN MAX ANTRIEBSTECH (DE)  
**Classification:**  
- international: H02K1/14; H02K21/14; H02K16/04; H02K1/14;  
H02K21/14; H02K16/00; (IPC1-7): H02K1/06; H02K1/14;  
H02K21/16; H02K37/14  
- european: H02K1/14C; H02K21/14C  
**Application number:** DE19991017689 19990419  
**Priority number(s):** DE19991017689 19990419

[Report a data error here](#)**Abstract of DE19917689**

The motor has ring toroidal coils mounted around a hollow pole tube (1) of high permeability which is fitted in the coil support carriers (33,34,35). Air gaps (20,21,22) are cut out of the lateral area of the pole tube by a laser beam. To hold the pole tube together axially, thin webs (10) are left when cutting out the air gaps and which bridge the air gaps.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



⑩ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑯ DE 199 17 689 A 1

⑪ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**H 02 K 1/06**  
H 02 K 1/14  
H 02 K 37/14  
H 02 K 21/16

⑦ Anmelder:  
Max Stegmann GmbH Antriebstechnik-Elektronik,  
78166 Donaueschingen, DE

⑧ Vertreter:  
Patentanwälte Westphal, Mussgnug & Partner,  
78048 Villingen-Schwenningen

⑨ Erfinder:  
Siraky, Josef, 78166 Donaueschingen, DE; Held,  
Siegfried, 78166 Donaueschingen, DE; Benedix,  
Hans, 78183 Hüfingen, DE

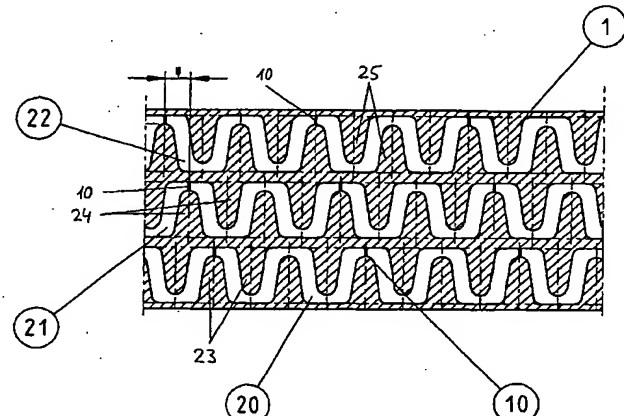
⑩ Entgegenhaltungen:  
GB 22 83 865 A  
EP 08 96 416 A1

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑪ Elektromotor

⑫ Ein Elektromotor weist einen Rotor und einen den Rotor koaxial umschließenden Stator auf. Der Stator und ggf. der Rotor sind in einzelne axial aneinander anschließende Segmente unterteilt. Jedes Statorsegment weist eine Ringspule auf, deren Magnetfluss durch ein äußeres Joch und Statorpole (23, 24, 25) geführt wird. Die Statorpole (23, 24, 25) werden durch ein koaxial in die Ringspulen eingesetztes und den Rotor umschließendes Polrohr (1) gebildet, wozu in den Mantel des Polrohrs (1) jeweils die Statorpole (23, 24, 25) voneinander trennende Lufträsse (20, 21, 22) eingearbeitet sind.



## Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Elektromotor gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Ein Elektromotor dieser Gattung, der insbesondere als Schrittmotor ausgebildet ist, ist aus der EP 0 896 416 A1 bekannt. Bei diesem Elektromotor ist der den Rotor koaxial umschließende Stator aus zwei axial aneinander anschließenden Statorsegmenten aufgebaut. Jedes Statorsegment weist eine zylindrisch gewickelte Ringspule auf. Das Magnetjoch jedes Statorsegments wird aus zwei Blech-Stanz-Biege-Teilen gebildet, die die Ringspule tofförmig umschließen. Dadurch wird einerseits ein die Ringspule koaxial umgebender magnetischer Rückschluss gebildet und andererseits werden koaxial innerhalb der Ringspule in konstanter Winkelteilung angeordnete Statorpole dadurch gebildet, dass die beiden Blech-Stanz-Biege-Teile zahnförmig ineinander greifen. Die jeweils ineinandergreifenden Zähne bilden die Statorpole, wobei ein die Statorpole voneinander trennender Luftspalt verbleibt, der in Umfangsabwicklung die Form einer mit der Winkelteilung periodischen Kurve hat.

Die Herstellung des bekannten Elektromotors ist aufwendig, da für jedes Statorsegment zwei Blech-Stanz-Biege-Teile gefertigt und montiert werden müssen. Für jeden Motortyp, d. h. für jeden Motordurchmesser, jede Polteilung usw. sind eigene Stanz- und Biegewerkzeuge notwendig. Die Auswahl der für das Magnetjoch verwendeten Materialien ist durch deren Biegeeigenschaften beschränkt und kann nicht nur nach den magnetischen Eigenschaften getroffen werden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Elektromotor der eingangs genannten Gattung zur Verfügung zu stellen, der bei kostengünstiger Herstellung eine größere Flexibilität in Bezug auf die magnetischen Eigenschaften und die Dimensionierung ermöglicht.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch einen Elektromotor mit den Merkmalen des Anspruchs 1.

Vorteilhafte Ausführungen und Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Erfindungsgemäß weist der Stator ein den magnetischen Rückschluss bildendes Joch auf, welches die Ringspule umschließt, während die Statorpole durch ein hohlzylindrisches Polrohr gebildet sind, welches koaxial in die Ringspule und das Joch eingesetzt wird. Der Luftspalt, der die Statorpole in Umfangsrichtung entsprechend der Polteilung trennt, ist in dem Mantel des Polrohres eingearbeitet.

Die Unterteilung des den Magnetfluss führenden Teiles des Stators in das äußere Joch und das innere Polrohr bietet den Vorteil, dass die Materialien für das Joch und das Polrohr im Wesentlichen nach ihren weichmagnetischen Eigenschaften ausgewählt werden können. Die Statorbleche, aus welchen das Joch aufgebaut ist, sind einfache Stanzteile. In das Polrohr muss nur der Luftspalt eingearbeitet werden. Bei dem gesamten Aufbau des den Magnetfluss führenden Teils des Stators sind keine Biegebearbeitungen notwendig, die besondere mechanische Materialeigenschaften notwendig machen würden.

Der erfindungsgemäß Aufbau bietet weiter eine hohe Flexibilität in der Fertigung. Die Polteilung und die Polform der Statorpole kann weitgehend frei gewählt werden. Es ist nur notwendig, die Form des in das Polrohr eingearbeiteten Luftspaltes zu ändern. Dies kann in einfacher Weise durch Umprogrammieren der Bearbeitungsmaschinen durchgeführt werden. Vorzugsweise wird der Luftspalt mittels eines Laserstrahls in den Mantel des Polrohres eingeschnitten, so dass sich eine besonders einfache Bearbeitung und Programmierung der Form des Luftspaltes ergibt. Auch unter-

schiedliche Motorgrößen und Motordurchmesser können ohne wesentlich erhöhten Werkzeugaufwand hergestellt werden.

Ist der Stator aus mehreren axial aneinander anschließenden Statorsegmenten aufgebaut, so wird vorzugsweise ein gemeinsames Polrohr für alle Statorsegmente verwendet. Jedem Statorsegment ist dabei ein Luftspalt zugeordnet, wobei die Luftpalte der einzelnen Statorsegmente axial beabstandet in den Mantel des Polrohres eingearbeitet werden.

- 10 Ist die Statorausführung so, dass die Statorpole in einem Polrohr eingesetzt werden, so kann dies mit einem permanentmagnetischen Rotor verwirklicht werden. Es können jedoch auch Rotoren mit Kurzschlusspulen verwendet werden. Der Elektromotor kann als Drehstrommotor, als Wechselstrommotor oder als Gleichstrommotor betrieben werden. Wegen der großen Flexibilität in der Winkelteilung und der Form der Statorpole eignet sich der erfindungsgemäß Elektromotor insbesondere auch als Schrittmotor. Durch die Form, die Anzahl und Breite der Statorpole sowie ggf. durch einen Winkelversatz der Statorpole der einzelnen Statorsegmente können die technischen Eigenschaften des Elektromotors frei gewählt und bestimmt werden, wie z. B. das Haltemoment, das Rastmoment, das Anlaufmoment sowie die Laufcharakteristik des Motors.
- 15
- 20
- 25

Im Folgenden wird die Erfindung anhand eines in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert. Es zeigen

- Fig. 1 den Mantel des Polrohres in Umfangsabwicklung,
- 30 Fig. 2 einen Axialschnitt des Elektromotors,
- Fig. 3 schematisch das Polrohr mit einem Luftspalt,
- Fig. 4 einen Axialschnitt eines Stators mit drei Statorsegmenten,
- Fig. 5 schematisch einen Rotor mit drei Segmenten und
- 35 Fig. 6 eine Abwandlung der Form des Luftspaltes.
- Fig. 2 zeigt einen Axialschnitt eines Elektromotors. Der Elektromotor weist einen Rotor 4 auf, der drehfest auf einer Ausgangswelle 5 sitzt. Der Rotor 4 wird koaxial von einem fest in einem Gehäuse 2 angeordneten Stator umschlossen, der in dem dargestellten Ausführungsbeispiel drei axial aneinander anschließende zylindrisch gewickelte Ringspulen 30, 31 und 32 aufweist. Die Ringspulen 30, 31, 32 sind jeweils auf Spulenträger 33, 34, 35 gewickelt, die koaxial zu dem Rotor 4 angeordnet sind.
- 40
- 45
- 50

Der Magnetfluss der Ringspulen 30, 31, 32 wird durch ein äußeres Joch 36 und ein inneres Polrohr 1 geführt. Das Joch 36 ist aus einem Blechlammelpaket aufgebaut, umschließt die Ringspulen 30, 31, 32 an ihrem Außenumfang und greift radial in den axialen Abstand zwischen den Ringspulen 30, 31, 32 ein und endet bündig mit dem Innenumfang der Spulenträger 33, 34, 35. Das Joch 36 besteht aus einem weichmagnetischen Material mit hoher Permeabilität und geringer Remanenz.

Das Polrohr 1 ist ein Hohlrohr aus einem weichmagnetischen Material höherer Permeabilität und geringerer Remanenz. Vorzugsweise besteht das Polrohr aus einem schwefelarmen Stahl. Das Polrohr 1 ist in die Spulenträger 33, 34, 35 und das zwischen den Spulen 30, 31, 32 nach innen greifende Joch 36 eingepasst. Mit seiner inneren Mantelfläche umschließt das Polrohr 1 mit geringem Spiel den Rotor 4.

In Fig. 1 ist eine Umfangsabwicklung des Polrohres 1 dargestellt. Wie diese Abwicklung zeigt, ist jeder der Ringspulen 30, 31, 32 ein Luftspalt 20, 21 bzw. 22 zugeordnet. Die Luftpalte 20, 21, 22 sind vorzugsweise mittels eines Laserstrahles aus der Mantelfläche des Polrohres 1 ausgeschnitten. Die Verwendung eines schwefelarmen Stahles für das Polrohr 1 verhindert das Abflämmen beim Laserschneiden und verbessert die Kantengrade der erzeugten Luft-

spalte. Die Luftpalte 20, 21, 22 verlaufen in der Umfangsabwicklung in etwa sinusförmig, mit einer ganzzahligen Periodenanzahl. Die axiale Amplitude des sinusförmigen Verlaufs der Luftpalte 20, 21, 22 entspricht im Wesentlichen der axialen Breite der Ringspulen 30, 31, 32, so dass jeweils eine Ringspule 30, 31 bzw. 32 mit dem Joch 36 und dem zuordneten axialen Abschnitt des Polrohres 1, des den jeweiligen Luftspalt 20, 21 bzw. 22 aufweist, ein Statorsegment bildet. Die Luftpalte 20, 21, 22 trennen aufgrund ihres etwa sinusförmigen Verlaufes alternierend zahnförmig ineinander greifende Bereiche des Mantels des Polrohres 1, die dem jeweiligen Statorsegment zugeordnete Statorpole 23, 24 bzw. 25 bilden.

Anstelle einer über den gesamten Umfang periodischen Kurvenform kann der Luftspalt auch Abweichungen der Kurvenform von einer strengen Perizität aufweisen, wodurch dem Elektromotor zum Beispiel eine bestimmte Laufrichtung aufgezwungen wird.

Damit das Polrohr 1 axial zusammenhält, werden beim Ausschneiden der Luftpalte 20, 21, 22 dünne axiale Stege 10 stehengelassen, die den jeweiligen Luftspalt 20, 21, 22 axial überbrücken. Die Breite und die Anzahl der Stege 10 wird so gewählt, dass diese den Luftspalt 20, 21, 22 möglichst wenig unterbrechen, jedoch eine ausreichende mechanische Stabilität des Polrohres 1 gewährleisten. In dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel ist jeder zweiten Periode des Kurvenverlaufs der Luftpalte 20, 21, 22 ein Steg 10 zugeordnet. Die Stege 10 sind vorzugsweise im Minimum bzw. Maximum des Kurvenverlaufs der Luftpalte 20, 21, 22 angeordnet, damit die Stege 10 eine möglichst geringe Fläche aufweisen und damit eine möglichst geringe den Magnetfluß leitende Unterbrechung der Luftpalte 20, 21, 22 bewirken.

Den Statorpolen 23, 24, 25 der Statorsegmente sind jeweils in Umfangsrichtung alternierend angeordnete Pole des Rotors 4 zugeordnet. Handelt es sich bei dem Rotor 4 um einen permanentmagnetischen Rotor, so wechseln in Umfangsrichtung magnetische Nord- und Südpole ab, wie dies Fig. 5 zeigt. Die Magnetisierung des Rotors 4 kann ebenfalls axial in Rotorsegmente 40, 41, 42 unterteilt sein, die axial den Statorsegmenten und damit den Statorpolen 23, 24, 25 zugeordnet sind, wie dies aus Fig. 5 ersichtlich ist.

Wie aus Fig. 1 ersichtlich ist, können die Luftpalte 20, 21, 22 und dementsprechend die Statorpole 23, 24, 25 der einzelnen Statorsegmente in der Phase um einen Winkel  $\varphi$  gegeneinander versetzt sein. Ebenso können die Magnetpole der Rotorsegmente 40, 41, 42 gegeneinander in der Phase um einen Winkel  $\psi$  gegeneinander versetzt sein.

Im Allgemeinen ist die Anzahl der Perioden der Luftpalte 20, 21, 22 gleich der Anzahl der Magnetpolpaare des Rotors 4, d. h. die Anzahl der Statorpole 23, 24, 25 stimmt mit der Anzahl der Magnetpole des Rotors 4 überein. Ausnahmen von dieser Regel sind möglich, wenn die Motoreigenschaften, wie insbesondere das Haltemoment und das Anlaufdrehmoment variiert werden soll. In diesem Fall ist eine geringfügige Differenz zwischen der Anzahl der Statorpole 23, 24, 25 und der Anzahl der Magnetpole des Rotors 4 möglich.

Sind mehrere Statorsegmente und Rotorsegmente vorgesehen, wie dies in dem Ausführungsbeispiel gezeigt ist, so entspricht die mechanische Phasenverschiebung der einzelnen Segmente, die sich zusammensetzt aus dem Winkelversatz  $\varphi$  zwischen den Luftpalten 20, 21, 22 und dem Winkelversatz  $\psi$  der Rotorsegmente 40, 41, 42, von einem eventuell geringen zusätzlichen Winkelversatz abgesehen, im Wesentlichen der elektrischen Phasenverschiebung der Ströme, die durch die Ringspulen 30, 31, 32 der einzelnen Statorsegmente fließen. Der zusätzliche Winkelversatz

(Winkeloffset) darf nicht zu groß sein und beträgt in der Regel nicht mehr als maximal etwa 5°, da sonst der Motor nicht mehr oder zumindest nicht mehr rund läuft.

Beispielsweise beträgt im Falle eines Drehstrommotors 5 die elektrische Phasenverschiebung zwischen den an die einzelnen Ringspulen 30, 31, 32 angeschlossenen Phasen 120°. In diesem Falle beträgt der Winkelversatz zwischen den Luftpalten 20, 21, 22 bzw. den Statorpolen 23, 24, 25 ebenfalls 120°, sofern der Rotor 4 nicht in im Winkel gegenüber 10 einander versetzte Segmente unterteilt ist.

Im Falle eines Wechselstrommotors mit einer durch einen Kondensator erzeugten elektrischen Phasenverschiebung von 90° der einzelnen Ringspulen 30, 31, 32 beträgt die mechanische Phasenverschiebung zwischen den zugehörigen Luftpalten 20, 21, 22 ebenfalls 90°.

Die Erfindung kann auch bei Gleichstrommotoren eingesetzt werden, bei welchen ein Kommutator die Bestromung der Ringspulen 30, 31, 32 steuert.

Vorzugsweise kann die Erfindung auch bei Schrittmotoren 20 eingesetzt werden, bei welchen die Ringspulen 30, 31, 32 elektronisch gesteuert bestromt werden und die Polteilung der Statorpole 23, 24, 25 die Winkelschritte bestimmt.

Wie aus Fig. 6 ersichtlich ist, muss die Form der Luftpalte 20, 21, 22 nicht sinusförmig sein. Es kann jede andere 25 sich periodisch wiederholende Kurvenform gewählt werden. Durch die Kurvenform der Luftpalte 20, 21, 22 können dabei die technischen Eigenschaften des Elektromotors beeinflusst werden.

Wie in Fig. 6 punktiert gezeigt ist, müssen die durch die 30 Luftpalte 20, 21, 22, abgegrenzten Statorpole 23, 24, 25 mit ihrer Längsachse nicht notwendig parallel zur Motorachse, d. h. zur Achse des Polrohres 1 angeordnet sein. Es ist beispielsweise auch möglich, die Achse der Statorpole 23, 24, 25 um einen Winkel  $\alpha$  gegen die Achse des Polrohres 1 schrägzustellen. Eine solche Schrägstellung, wie sie in Fig. 35 6 durch den Winkel  $\alpha$  angedeutet ist, verändert die Motoreigenschaften in Bezug auf eine Vorzugsdrehrichtung.

#### Bezugszeichenliste

- |  |                  |
|--|------------------|
| 40                                     | 1 Polrohr        |
| 2 Gehäuse                              |                  |
| 4 Rotor                                |                  |
| 5 Ausgangswelle                        |                  |
| 45                                     | 10 Stege         |
| 20 Luftpalte                           |                  |
| 21 Luftpalte                           |                  |
| 22 Luftpalte                           |                  |
| 23 Statorpole                          |                  |
| 50                                     | 24 Statorpole    |
| 25 Statorpole                          |                  |
| 30 Ringspulen                          |                  |
| 31 Ringspulen                          |                  |
| 32 Ringspulen                          |                  |
| 55                                     | 33 Spulenträger  |
| 34 Spulenträger                        |                  |
| 35 Spulenträger                        |                  |
| 36 Joch                                |                  |
| 40 Rotorsegmente                       |                  |
| 60                                     | 41 Rotorsegmente |
| 42 Rotorsegmente                       |                  |
| $\varphi$ Phasenversatz der Luftpalte  |                  |
| $\psi$ Phasenversatz der Rotorsegmente |                  |
| $\alpha$ Drehung der Statorpole        |                  |

#### Patentansprüche

1. Elektromotor, mit einem Rotor und einem den Rotor

koaxial umschließenden Stator, der ein oder mehrere axial aneinander anschließende Statorsegmente aufweist, wobei jedes Statorsegment eine zylindrisch gewickelte Ringspule, einen die Ringspule koaxial umgebenden magnetischen Rückschluß und dem Rotor zugewandte in konstanter Winkelteilung angeordnete Statorpole aufweist, und wobei die Statorpole durch einen Luftspalt voneinander getrennt sind, der in Umfangsabwicklung die Form einer vorzugsweise mit der Winkelteilung periodischen Kurve hat, dadurch gekennzeichnet, dass die Statorpole (23, 24, 25) durch ein coaxial in die Ringspule (30, 31, 32) und ein den Rückschluss bildendes Joch (36) eingesetztes weichmagnetisches Polrohr (1) gebildet sind, in dessen Mantel der Luftspalt (20, 21, 22) eingearbeitet ist. 5

2. Elektromotor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Luftspalt (20, 21, 22) mittels Laserstrahl aus dem Mantel des Polrohres (1) ausgeschnitten ist. 10

3. Elektromotor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Luftspalt (20, 21, 22) an wenigstens zwei im Winkel gegeneinander versetzten Stellen durch einen das Polrohr (1) zusammenhaltenden Steg (10) unterbrochen ist. 15

4. Elektromotor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Stege (10) in gleicher Winkelteilung gegeneinander versetzt an einer Minimumstelle oder Maximumstelle der axialen Amplitude des Luftspaltes (20, 21, 22) angeordnet sind. 20

5. Elektromotor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Luftspalt (20, 21, 22) in der Umfangsabwicklung im Wesentlichen Sinusform hat. 25

6. Elektromotor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Polrohr (1) aus einem Material mit hoher Permeabilität besteht. 30

7. Elektromotor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Polrohr (1) aus einem schwefelarmen Stahl besteht. 35

8. Elektromotor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Stator aus mehreren axial aneinander anschließenden Statorsegmenten besteht, die jeweils eine Ringspule (30, 31, 32) und einen zugeordneten Luftspalt (20, 21, 22) des Polrohres (1) aufweisen, dass den Statorsegmenten axial 40 aneinander anschließende Segmente (40, 41, 42) des Rotors (4) zugeordnet sind, und dass die mechanische Phasenverschiebung, die sich aus dem Winkelversatz ( $\varphi$ ) des periodischen Verlaufs der Luftspalte (20, 21, 22) der Statorsegmente und einem eventuellen Winkelversatz ( $\psi$ ) der Polanordnung der Segmente (40, 41, 42) des Rotors (4) ergibt, mit der elektrischen Phasenverschiebung der den Ringspulen (30, 31, 32) der Statorsegmente zugeführten Spulenströme übereinstimmt. 45

9. Elektromotor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Anzahl der Perioden der Luftspalte (20, 21, 22) gleich der Anzahl der Magnetpolpaare des Rotors (4) ist, so dass die Anzahl der Statorpole (23, 24, 25) mit der Anzahl der Magnete des Rotors (4) übereinstimmt. 50

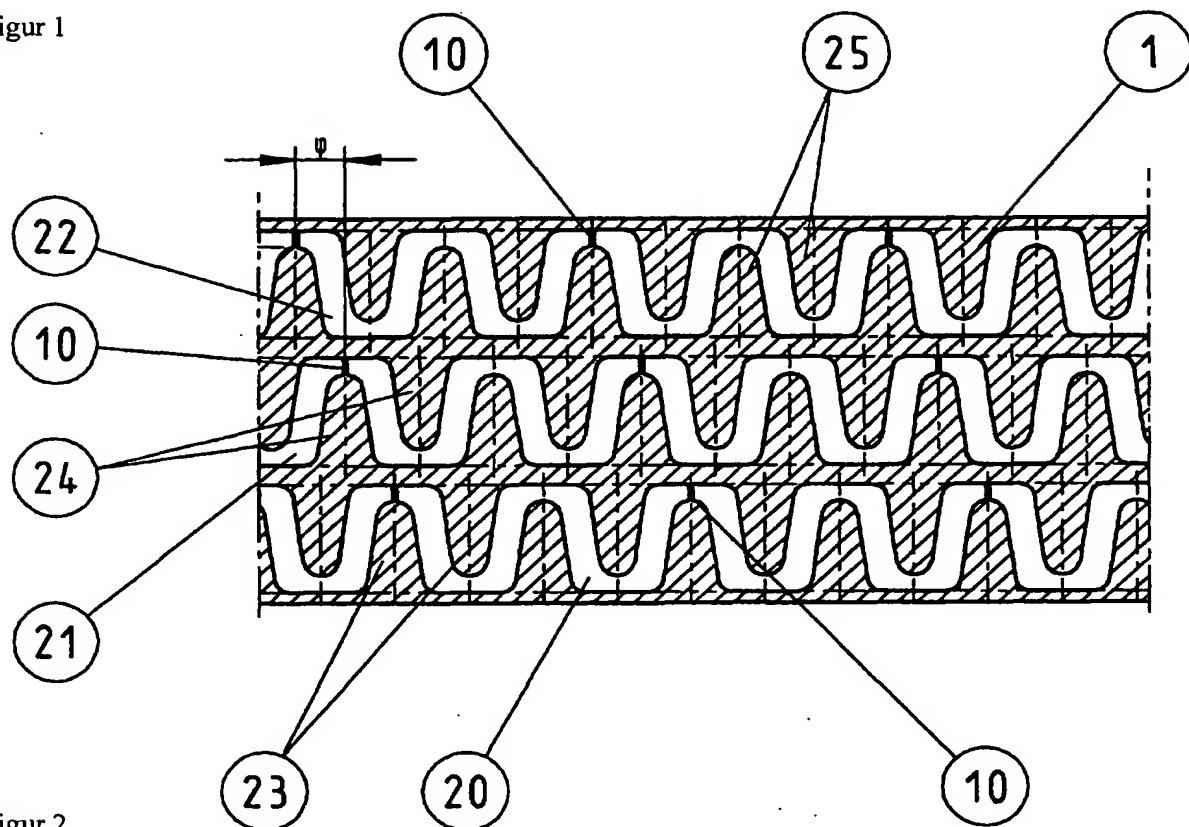
60

---

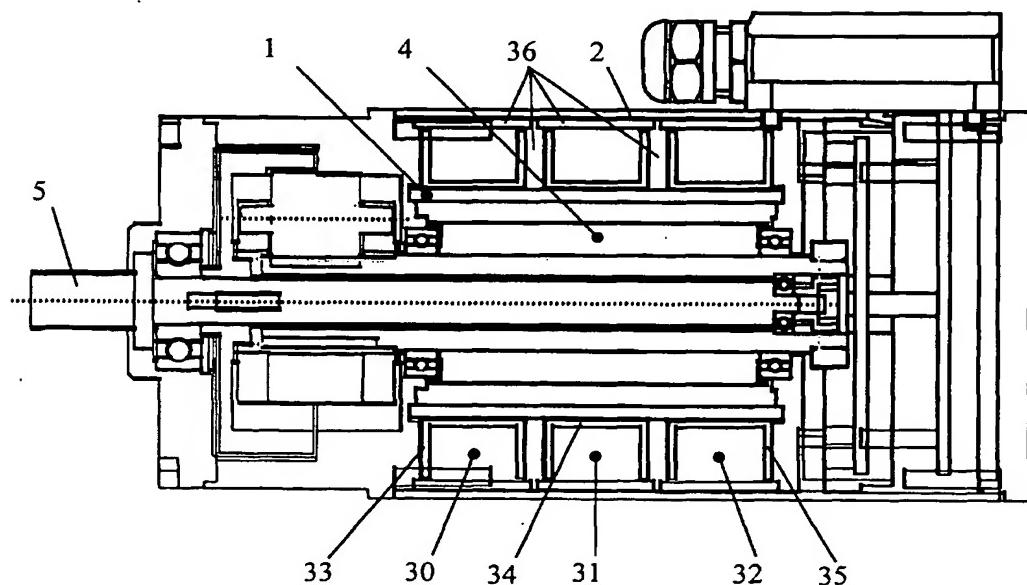
Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

**- Leerseite -**

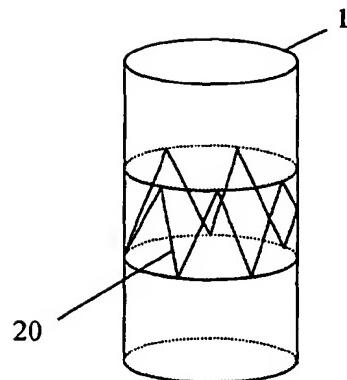
Figur 1



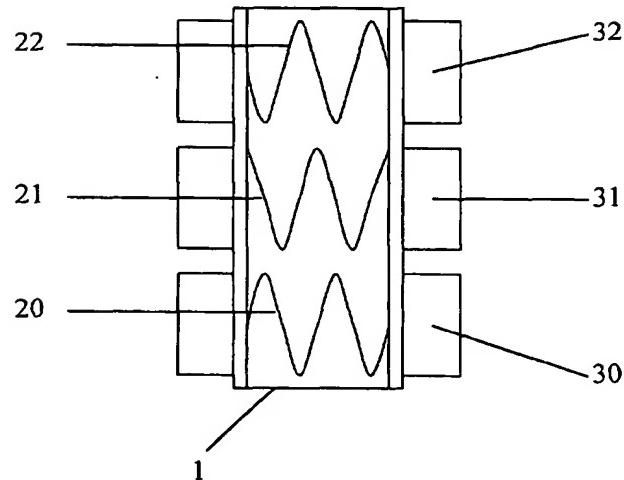
Figur 2



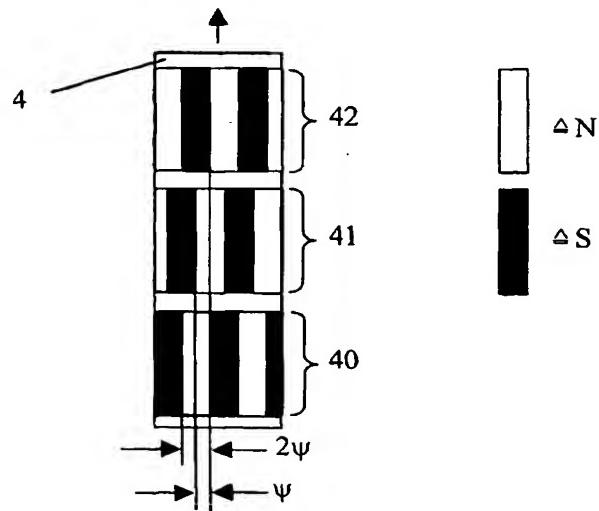
Figur 3



Figur 4



Figur 5



Figur 6

